

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 04-000679

(43)Date of publication of application : 06.01.1992

(51)Int.Cl.

G06F 15/60

(21)Application number : 02-100437

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 18.04.1990

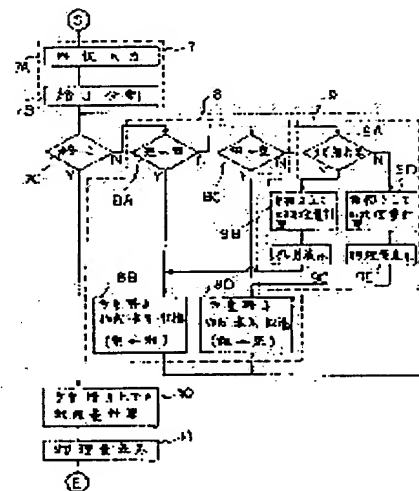
(72)Inventor : UMEGAKI KIKUO  
TAGO KAZUATSU  
OSE YOICHI  
HIGUCHI YOSHIYA  
MIKI KAZUYOSHI

## (54) METHOD AND DEVICE FOR SUPPORTING COORDINATE GRID PREPARATION

## (57)Abstract:

PURPOSE: To efficiently attain determining plural coordinate grids with different density by preparing a second coordinate grid whose interval is different from a first coordinate grid in the partial area of the first coordinate grid and preparing further new second coordinate grid with the display of corresponding relation.

CONSTITUTION: Form data are inputted by using a general coordinate grid preparation supporting CAD system and the grid division of an area where analysis is executed in an analysis object. The end/not end of multiple grid preparation is judged and when it is judged to be not end, plural coordinate grid groups with different density are prepared and displayed. The second coordinate grid is prepared corresponding to the result of whether it is coarse or fine and it is stored in an external memory. Thus, the coordinate grid corresponding to the analysis object and an analysis purpose can be efficiently generated.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

2

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平4-679

⑤ Int. Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 平成4年(1992)1月6日

G 06 F 15/60

4 5 0

7922-5L

審査請求 未請求 請求項の数 10 (全13頁)

⑭ 発明の名称 座標格子作成支援方法及びその装置

⑯ 特 願 平2-100437

⑰ 出 願 平2(1990)4月18日

⑱ 発 明 者 梅 垣 菊 男 茨城県日立市森山町1168番地 株式会社日立製作所エネルギー研究所内  
⑱ 発 明 者 田 子 一 農 茨城県日立市森山町1168番地 株式会社日立製作所エネルギー研究所内  
⑱ 発 明 者 小 瀬 洋 一 茨城県日立市森山町1168番地 株式会社日立製作所エネルギー研究所内  
⑱ 発 明 者 樋 口 佳 也 茨城県日立市森山町1168番地 株式会社日立製作所エネルギー研究所内  
⑲ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地  
⑳ 代 理 人 弁理士 秋本 正実  
最終頁に続く

明 細 書

1. 発明の名称

座標格子作成支援方法及びその装置

2. 特許請求の範囲

1. 計算機を用いて物理現象を解析するために、対象とする解析領域に座標格子を作成する際に使われる座標格子作成支援方法において、

解析領域を分割して第一座標格子を作成する第1のステップと、該第一座標格子を記憶する第2のステップと、該第一座標格子をディスプレイ画面に表示する第3のステップと、該第一座標格子の部分領域を作成する第4のステップと、該部分領域中の第一座標格子と異なる間隔の第二座標格子を作成する第5のステップと、上記第一座標格子と第二座標格子との対応関係を記憶する第6のステップと、該第一座標格子と第二座標格子との対応関係をディスプレイ画面に表示する第7のステップと、より成る座標格子作成支援方法。

2. 最初に第1のステップから第7のステップま

での処理を行い、以後は第4のステップから第7のステップまでの処理を繰返して行い、この第4のステップから第7のステップまでの処理の繰返しにあつては、第4のステップでの第一座標格子は、それ以前の最新の第二座標格子を第一座標格子と定義し直したものとする請求項1の座標格子作成支援方法。

3. 第5のステップでの第一座標格子と異なる間隔の第二座標格子は、第一座標格子を再分割して得た密な座標格子とする請求項1又は2の座標格子作成支援方法。

4. 第5のステップでの座標格子と異なる間隔の第二座標格子は、第一座標格子を間引いて得た粗な座標格子とする請求項1又は2の座標格子作成支援方法。

5. 請求項2の座標格子作成支援方法で最終的に得た粗密の異なる第一、第二座標格子群を用いて、解析領域内の物理量分布を反復計算により数値シミュレーションで求める際に、ディスプレイ画面に表示した各粗密座標格子上に、反復

計算の過程で計算結果より得られる残差の分布を表示し、この表示した情報をもとに第4のステップから第7のステップの処理を行って各粗密座標格子を作成し直してなる座標格子作成支援方法。

6. 残差の値が粗格子のコントロールボリューム内で一定符号となるように粗格子を作成する請求項5の座標格子作成支援方法。

7. 第7のステップの対応関係とは、第一座標格子と第二座標格子とを同一表示画面上に重ねて表示させた関係とする請求項1の座標格子作成支援方法。

8. 計算機を用いて物理現象を解析するために、対象とする解析領域に座標格子を作成する際に使われる座標格子作成支援装置において、

解析領域を分割して第一座標格子を作成する第1の手段と、該第一座標格子を記憶する第2の手段と、該第一座標格子をディスプレイ画面に表示する第3の手段と、該第一座標格子の部分領域を作成する第4の手段と、該部分領域中

の第一座標格子と異なる間隔の第二座標格子を作成する第5の手段と、該第一座標格子と第二座標格子との対応関係を記憶する第6の手段と、該第一座標格子と第二座標格子との対応関係をディスプレイ画面に表示する第7の手段と、より成る座標格子作成支援装置。

9. 上記第5の手段での第一座標格子と異なる間隔の第二座標格子は、第一座標格子を再分割して得た密な座標格子とする請求項8の座標格子作成支援装置。

10. 上記第5の手段での第一座標格子と異なる間隔の第二座標格子は、第一座標格子を間引いて得た粗な座標格子とする請求項8の座標格子作成支援装置。

### 3. 発明の詳細な説明

#### [産業上の利用分野]

本発明は、計算機を用いた数値解析で必要となる解析領域内の座標格子を作成する方法及びその装置に係り、特に、多次元で粗密の異なる複数の座標格子群を作成する際の人為的ミスを低減する

と共に座標格子の作成に要する作業時間を低減し、解析目的に応じて、解析に最適な座標格子群を作成するのに好適な座標格子作成支援方法及びその装置に関するものである。

#### [従来の技術]

多重格子法の従来例には下記の2つがある。

1. 荒川忠一他2名『多重格子法によるナビエーストックス方程式の分離解法の高速化』(日本機械学会論文集(B編)54巻495号(昭63-2)p.290 論文No. 87-0256A)。

2. 藤本明、坂田誠一『多重格子法による2点境界値問題の解析』(日本機械学会論文集(B編)54巻500号(昭63-4)p.849 論文No. 87-0829B)。

計算機の発達に伴い、構造解析、流体解析、電磁場解析などの分野では、数値シミュレーションに関する様々な手法が開発され、有限要素法や差分法等を用いた汎用の数値解析プログラムとして実用化されつつある。その中で上記公知例に示した多重格子法は、その収束性能の高さから、特に流体解析の分野で急速に広まっている。この方法

は、従来のように単一の座標格子で物理量を解くのではなく、粗密の異なる複数の座標格子群を用いて解析する。精度の高い解析を実現するためには、解析対象に応じて最適な粗密格子群を作成する必要があるが、粗密格子の作成方法に非常に任意性があるため、公知の技術では、効率的にこれらの座標格子を作成する方法がない。

一方、いわゆるCAE(Computer Aided Engineering)システムが発達し、複雑な形状の物体も対話形式でモデリングできるようになってきている。幾何モデリングから解析シミュレーションを一貫して行うために、これらのシステムでは解析に使用する座標格子を作成することができるようになっている。

#### [発明が解決しようとする課題]

しかし、従来のCAEシステムは、差分法、有限要素法等を対象として、最終的には単一の座標格子を作成することを目的としており、複数の粗密格子群を作成することはできず、その適用には限界がある。つまり、従来のシステムにおいても、

作成した座標格子の再分割、間引き等の機能を持っているものがあるが、操作後に作成した座標格子を複数の座標格子として捉え、両者の対応関係を表示したり、記憶する機能はない。多重格子法を用いる際には、粗密の異なる複数の座標格子間の対応関係を表示、記憶することが不可欠であり、その意味で従来のC A Eシステムを用いるのは困難である。

このように、上記従来方法では、最終的に単一の座標格子を作成することを目的としており、複数の粗密座標格子群を作成し、その対応関係を表示、記憶することはできない。従って、粗密座標格子形状を確認するための表示機能等も持たず、解析作業者の目的に応じた複数の粗密座標格子を対話式に効率良く作成することは困難である。一方、対象とする問題が多次元化し、構造が複雑化すると、C A Eシステムなしには、解析作業者の経験を十分に反映し、また十分適切な座標格子群（多重格子）を効率良く決定するのが困難になってくる。従って、対話処理の中で解析の目的に合

第二座標格子を作成する第5のステップと、上記第一座標格子と第二座標格子との対応関係を記憶する第6のステップと、該第一座標格子と第二座標格子との対応関係をディスプレイ画面に表示する第7のステップと、より成る。

更に本発明は、解析領域を分割して第一座標格子を作成する第1の手段と、該第一座標格子を記憶する第2の手段と、該第一座標格子をディスプレイ画面に表示する第3の手段と、該第一座標格子の部分領域を作成する第4の手段と、該部分領域中の第一座標格子と異なる間隔の第二座標格子を作成する第5の手段と、該第一座標格子と第二座標格子との対応関係を記憶する第6の手段と、該第一座標格子と第二座標格子との対応関係をディスプレイ画面に表示する第7の手段と、より成る。

#### 【作用】

本発明によれば、第一座標格子の部分領域中に、第一座標格子と異なる間隔の第二座標格子を作り、更にこれらの対応関係を表示させる。この対応関

った多重格子を効率良く作成する方法及びC A Eシステムを構築することが必要になってくる。

尚、粗密の異なる座標格子を作成する従来例には、特開昭62-46374号、特開昭63-170777号がある。しかし、これらの従来例には、粗密の異なる座標格子の対応関係を表示したり、記憶したりする旨の記載はない。

本発明の目的は、対象とする物理量の計算時間を低減するため、多重格子法を用いて計算する際に必要な多重座標格子を作成する方法において、粗密の異なる複数の座標格子を対話式で効率良く決定する支援方法及びその装置を提供することにある。

#### 【課題を解決するための手段】

本発明は、解析領域を分割して第一座標格子を作成する第1のステップと、該第一座標格子を記憶する第2のステップと、該第一座標格子をディスプレイ画面に表示する第3のステップと、該第一座標格子の部分領域を作成する第4のステップと、該部分領域中の第一座標格子と異なる間隔の

係の表示によって、更に新しい第二座標格子を作成できる。

#### 【実施例】

以下、本発明を好適な実施例を用いて説明する。第2図は、本発明の一実施例である座標格子作成支援装置1の構成を示している。本実施例の支援装置1は、図に示すように表示装置（例えばC R T）2 A及び2 B、画像処理装置3 A及び3 B、演算処理装置（例えば電子計算機）4、外部記憶装置5 a及び5 b、操作盤（例えばキーボード）6を有している。表示装置2 A及び2 Bは、画像データ記憶部3 C及び3 Dを含む画像処理装置3 A及び3 Bを介して演算処理装置4に接続されており、記憶装置5及び操作盤6も演算処理装置4に接続されている。

演算処理装置4は、演算部4 a、処理手順記憶部4 b、中間データ記憶部4 c、入力部4 d、座標格子データ記憶及び入出力部4 e、画像データ入出力部4 f及び4 g、形状データ入出力部4 hにより構成される。これらの各装置は演算部4 aを中

心に結合しており、入力部4d、入出力部4g、4h、4eは演算部4aと接続し、記憶部4c、4bも演算部4aと接続している。処理手順記憶部4bは、第1図の処理手順を記憶している。操作盤6は入力部4dに接続される。画像表示装置3A及び3Bは、画像データ入出力部4f及び4gに接続される。外部記憶装置5aには粗な座標格子と密な座標格子の対応関係、及び座標格子が、また外部記憶装置5bには形状データが格納され、5aにはデータ入出力部4e、5bには4hが接続される。

第1図に本実施例の処理手順記憶部4bに記憶されて、演算部4aで実行される処理手順(プログラム)を示す。解析作業者がキーボード6にて指定した解析対象物に対する、形状データを外部メモリ5bより入力して(ステップ7A)、解析対象物(例えば流体が流れる配管)において解析を行う領域の格子分割を行う(ステップ7B)ステップを含む座標格子を作成するステップ7の処理は、一般の座標格子作成支援CADシステム(例えば、特願昭60-212985号、特願昭51-1064

66号の座標変換により曲線座標格子を作成する技術)を用いて行うことができる。次に、ステップ7Cにて、多重格子作成の終了、未終了が判定される。ステップ7CがNO(未終了)と判定した場合は、本実施例の支援装置を用いて粗密の異なる複数の座標格子群(以下多重格子と呼ぶ)をステップ8で作成表示する。ステップ8では、密から粗なのか(ステップ8A)、粗から密なのか(ステップ8C)を判定して、その結果に応じて粗座標格子又は密座標格子なる第二座標格子を作成し、これを表示装置2Aに表示して、外部メモリ5aに記憶する(ステップ8B、8D)。ステップ8A及びステップ8Cの処理は、オペレータがキーボード6から入力した「密」「粗」の指示信号に基づいて行われる。第二座標格子の作成は、ステップ7Bで求めた第一座標格子の部分領域(第一座標格子内の格子間隔を替える領域)内で行う。又は、ステップ9Aの判定がYESの場合、ステップ9内のステップ9Bの物理量計算により残差を求め、得られた残差をステップ9Cにより

座標格子と共に表示装置2Aに表示して、キーボード6を介してのオペレータの指示情報に基づいてステップ8Bで粗格子を作成或いは変更する。ステップ9Aの判定がNOの場合、ステップ9内の格子上での物理量計算を実行するステップ9D及び計算にて得られた物理量を表示するステップ9Eの処理により最密座標格子と共に物理量を表示装置2Aに表示して、ステップ8Dで更に1段階細かくした最密座標格子を作成する。そして、ステップ7CでYES(終了)と判定された場合は、最終的に得た多重格子を用いてステップ10、11を利用して物理量を計算し表示する。

物理量計算は以下のように実行できる。例としてポテンシャル或いは流体圧力などの、次に示すポアソン方程式による計算を採る。

$$\nabla^2 \phi = p \quad \dots (1)$$

座標格子は、互いに交差する複数の座標線を含む。二次元の座標格子では一つの升目に相当する領域を、三次元の座標格子では互いに三次元的に隣接して位置する六つの升目で画定される立体に

相当する領域を、コントロールボリュームという。解析対象物において(1)式を適用する解析領域を、三次元座標格子に分割し、しかもコントロールボリュームの概念を適用すると、ガラの発散定理により、離散式を次のように表すことができる。なお、前述の二次元座標格子での1つの升目及び三次元座標格子での1つの立体を画定する座標線を単位格子という。

$$\sum_{lmn} [S_{ijk}]_{ijk}^{lmn} \frac{\phi_{lmn} - \phi_{ijk}}{|r_{lmn} - r_{ijk}|} = V_{ijk} p_{ijk} \quad \dots (2)$$

ここで、lmnはijkの隣接格子点番号、rはφを定義した座標値、Sはコントロールボリューム表面の面積(二次元座標格子ではコントロールボリューム長さ)と媒質パラメータの積、Vはコントロールボリューム体積(二次元座標格子ではコントロールボリューム面積)であり、結局、

$$\sum_{lmn} A_{ijk}^{lmn} \phi_{lmn} + A_{ijk} \phi_{ijk} = b_{ijk} \quad \dots (3)$$

の形の連立一次方程式Ax=bの形になり、逆行列演算により各格子上のφを求めることができる。

したがって、一つの座標格子(単格子)を与えれば、その上で物理量 $\psi$ を計算できる。コントロールボリュームの中心は、計算に対応して座標線上または、座標線間に移動させることができる。

しかし、 $Ax=b$ を特にノイマン条件で解く場合、SOR法などの反復解法では、収束が極めて遅く、反復途中の計算値と解との差(誤差)はなかなか減衰しない。格子毎に符号の変わるような高周波の誤差変動成分の減衰は速いが、特に低周波の誤差は極めて減衰が遅い。このため、暫く反復すると、滑らかな誤差分布が残り、この誤差分布の減衰が遅いことになる。一方、この誤差分布は滑らかであるために、上記物理量の計算を粗い格子を用いて行うことによってその誤差を小さくすることができ、粗格子による計算で得られた解を用いて細密格子による計算で得られた解との差を補正することができる。また、粗い格子で解けば、格子点数が減るだけでなく、誤差分布も高周波側に移動することになるので、収束を加速できる。

ることができる。この初期値を基にして密格子における方程式の計算が行われる。

このような計算を密度標格子と粗座標格子の間で繰返すことにより、細密座標格子のみを用いるより計算時間を短縮することが可能となる。粗座標格子においても収束が遅くなる場合には、さらに粗い格子を用いて収束を加速することが可能である。

以上に述べた一般の多重格子法による離散方程式の反復解法を実現するには、多重格子、各格子のマトリクス、ソース項を用意する必要がある。マトリクスとソース項を決める方法については既に述べたので、以下では、格子を作成するための方法及び装置の実施例を示す。

今、仮に対象とする解析領域内の座標格子が一般の座標格子作成支援CADシステムまたは既存の技術(例えば、特願昭60-212985号、特願昭61-105466号の座標変換により曲線座標格子を作成する技術)で与えられたものとして、それ以降の手順が本発明の支援方法として説明する。多重格

密格子の未収束の反復計算値 $x_1$ と解 $x$ との差 $\Delta x = x - x_1$ は、方程式 $A(\Delta x) = b - Ax_1 = r$ を満たす。 $r$ は残差と呼ばれる。密格子の方程式 $Ax=b$ 及び残差 $r$ の平均化演算子 $C$ と、粗格子解 $x'$ の密格子への補完演算子 $I$ を決めると、粗い格子の連立一次方程式 $A'x' = b'$ を作成できる。すなわち、

$$CAIx' = Cr + CAIPx_1 = b' \quad \dots(4)$$

$$A' = CAI \quad \dots(5)$$

ここで、 $P$ は密度標格子上の物理量の粗座標格子への射影演算子であり、普通、粗座標格子のコントロールボリューム内の中心に位置する密度標格子コントロールボリュームでの値を代入する。また、普通、 $C$ にはコントロールボリューム体積での荷重平均を、 $I$ には補間なしの代入或いは隣接格子での相加平均を用いる。このような単純な操作を用いると、 $A'$ の作成時間は短くて済む。粗座標格子上で連立一次方程式 $A'x' = b'$ を解いて得た補正量を、密格子上の計算値に加えることで密格子における新たな $Ax=b$ の初期値を得

子の作成法としては、細密格子の座標線を間引くことで階層的に粗格子を作成する方法を考案した。他に、最粗格子をまず作成し、座標線を補間することで、階層的に密格子を作成していく方法を考案した。また、密格子での残差分布に基づいて階層的に粗格子を作成していく方法、粗格子での物理量分布に基づいて密格子を作成する方法を考案した。特に後者は、密格子の初期値を計算しながら最適密格子を作成するのに役立つ。以上の多重格子作成を可能にするため、ステップ7によりある段階の座標格子が得られたとき、演算部4aにより、表示装置2Aの画面に、外部メモリ5bに記憶されている「1.終了、2.密→粗、3.粗→密、4.残差表示、5.物理量表示」のメニューが表示される。このメニュー項目を解析作業者が選択してキーボード6にて指示することにより、ステップ8及び9の処理が実行されて該当する粗又は密の格子が作成される。

まず、解析作業者が経験をもとに密な座標格子から粗い座標格子を多段階に渡って作成する場合

について説明する。最初に作成した座標格子を最密座標格子と考える。粗座標格子の作成(ステップ8B)では、一旦外部メモリ5aに記憶した座標格子を再び表示装置2Aの画面に表示する。この座標格子を現段階(カレントレベル)の座標格子(基本座標格子)と呼ぶことにする。現段階の座標格子の座標線を幾つか間引くことで順次粗格子が作成される。第3図に、本実施例の装置に表示した現段階の座標格子14の1例を示す。粗座標格子の作成手順を説明する。解析作業者は、第4図に示すように、キーボード6又はライトペン等を用いて、表示装置2Aの画面上で現段階の座標格子14の1辺(1つの座標線)17を指定し、その辺上で18から19の範囲(部分領域)を指定し、範囲内の座標線の間引き数をパラメータ入力テーブル15でピックアップして指定する。次に、ステップ8Bの処理で、この情報をもとに指定された部分領域において粗い座標格子を計算により求め(例えば、特願昭61-281773号の技術を用いて)、第4図に示すように、指定した座標線の間引いた後の粗い

座標格子16を表示装置2A、2Bに表示する。このような処理にて、第4図に示すように、現段階の座標格子14と粗い座標格子16が混在した座標格子が得られる。または、第5図のように、間引かれる座標線14A(破線)と共にそれを間引いた後の座標格子16を表示装置2Aに表示する。次に、同一辺上の他の範囲、あるいは該1辺と交わる他の座標線とこの座標線上の範囲とを指定して、同様に、指定した座標線の間引いた後の座標格子を計算し、表示する。この操作を、解析作業者の経験から満足できる座標格子が得られるまで反復し、満足できた粗格子の密格子に対する対応関係を外部メモリ5aに記憶する。または、粗格子も記憶する。次に、得られた粗格子を現段階の座標格子と考えて、以上の操作を繰返すことにより、多段階の粗密の座標格子の組(多重格子)を作成することができる。

上記の1辺(又は座標線)の指定は、ライトペン、マウス等でピックアップし、範囲の指定は、辺17に交わる座標線(3次元では座標面)をピックアップする。

座標線の間引き数の入力、何本置きに間引くかを入力するか、間引く線(面)の数を入力するか、削除線をピックアップするかのいずれかにより行う。粗座標格子の計算では、間引く線(面)を削除して格子点番号を付け変えと共に、密座標格子との対応関係を決定する。粗座標格子の表示では、色、輪郭太線、点滅、ハイライト、交替表示、並列表示等により強調して表示する。対応関係の表示では、粗密の座標格子を重ねて表示する(第5図)。

解析作業者が経験をもとに最も粗い座標格子を細分割して密な座標格子を多段階に渡って作成する場合には、現段階の座標格子がその時点での最粗座標格子(基本座標格子)となっている。例えば、第6図の14を現段階の座標格子と考え、密座標格子の作成手順は、第6図に示すように、現段階の座標格子14の1辺17を指定し、その辺上で18から19の範囲(部分領域)を指定し、範囲内の細分割数を指定する。次に、この情報をもとに密な座標格子を計算(例えば、特願昭61-106466号、特開昭62-263564号、特願昭61-281773号、

特開昭63-136258号、特願平1-27462号の技術を用いて)し、第6図に示すように、基本座標格子16と共に部分領域内で座標線を付加して細分割して得られる密座標格子20を表示装置2A、2B上に表示する。次に、同一辺17上の他の範囲、あるいは該1辺と交わる他の座標線とその上の範囲とを指定して、同様に、細分割した座標格子を計算し、表示装置2A、2B上に表示する。この操作を、解析作業者の経験から満足できる座標格子が得られるまで反復し、満足できた密格子を最密座標格子とし、密座標格子に対する粗座標格子の対応関係及び細密座標格子を外部メモリ5aに記憶する。また、粗座標格子の座標データは削除してもよい。次に最密座標格子を現段階の座標格子と考えて、以上の操作を繰返すことにより、多重格子を作成することができる。

細分割数の入力では、単位格子内の挿入分割数を入力するか、指定した範囲内の全挿入分割数を入力する。粗座標格子の表示では、色、輪郭太線、点滅、ハイライト、交替表示、並列表示等により



強調して表示装置2A、2Bに表示する。対応関係表示では、粗密の格子を重ねて表示装置2A、2Bに表示する(第6図)。

現段階の座標格子を用いた物理量計算からその座標格子に対する残差分布を得て(ステップ9B)、この残差分布に基づいて粗座標格子を作成する(ステップ8B)場合は、粗座標格子の1つの単位格子に対するコントロールボリューム内の残差分布ができるだけ正定値(残差が正の値になること)或いは負定値(残差が負の値になること)を取るよう後述の方法で粗座標格子を設定する。例えば、現段階の座標格子において残差の正領域(残差が正の値をとる領域)21、負領域(残差が負の値をとる領域)22に含まれる縦横の単位格子数が等しければ(第7A図)、隣接する正領域21及び負領域22毎に上記単位格子をまとめて第7B図のような粗座標格子を作成する。また、現段階の座標格子において残差の正領域21、負領域22に含まれる単位格子の数が一方向に多ければ(第7C図)、現段階の座標格子の単位格子を各々の領

域毎にまとめて第7D図のような粗座標格子を作成する。すなわち、残差の正領域(または負領域)毎に現段階の座標格子の単位格子をまとめることによって、粗座標格子における1つの単位格子が作成される。粗座標格子の座標線は、正領域21と負領域22との境界にできるだけ位置するようにするとよい。

残差の大きさを正領域と負領域の二領域に分けるのではなく残差の大きさを所定のレベル範囲毎に三以上の領域に分割することも可能である。この場合、現段階の座標格子の単位格子を同レベル範囲毎にまとめて、前述と同様に粗座標格子を作成する。

残差分布を考慮した多重格子の作成手順は以下のようになる。残差分布を正領域21及び負領域22に分けた場合を例にとって説明する。まず、現段階の座標格子上の物理量の初期値を設定し、物理量を反復計算し、適当な回数で反復を打ち切り、残差を計算する(ステップ9B)。得られた残差分布(正領域21及び負領域22)を第8図に示すよ

うに計算に用いた現段階の座標格子と共に表示装置2A、2B上に表示する(ステップ9C)。

ステップ8Bではまず、表示された残差分布に対応する粗座標格子が外部メモリ5aに記憶されているか否かの検索が行われる。該当する粗座標格子が記憶されている場合は、この粗座標格子を呼び出して、残差分布と計算に用いた現段階の座標格子の重ね表示の上に、更に重ねて強調表示する。また、該当する粗座標格子が記憶されていないときは、ステップ8Bで、その旨を表示装置2Aに表示する。解析作業者は、残差分布と現段階の座標格子の表示データを見て、削除する座標線を前述と同様に指定する。この指定情報を受けてステップ8Bは、前述した間引きの手順により密座標格子から粗座標格子を作成し、同様に粗座標格子を強調表示する(第9図)。第9図において一点鎖線で示す座標線14Bは間引かれたものである。このように本実施例では残差の大きさを粗座標格子の作成に反映できるので、第9図に示すように単位格子の大きさが異なる粗座標格子

(多重格子)が容易に作成できる。残差分布を表示するので、そのような多重格子の作成にあたって間引くべき座標線を、解析作業者が容易に知ることができる。次に、強調表示された粗座標格子が妥当かどうかを解析作業者が経験をもとに判断する(第9図は妥当な場合)。得られた粗座標格子が妥当でない場合は、解析作業者が再度、現段階の座標格子から間引くべき座標線を指定し、ステップ8Bの間引きの手順により、粗座標格子を作成する。または、得られた粗座標格子の上の座標線の削除追加等の操作(例えば、特願昭61-281773号、特願平1-27462号の技術を用いて)により修正する。次に、作成した粗座標格子を残差分布と現段階の座標格子を重ねて表示装置2A、2B上に強調表示する(第9図)。解析作業者がその粗座標格子は妥当である旨の信号を入力すると、ステップ8Bにより粗座標格子の密座標格子に対する対応関係及び粗座標格子を外部メモリ5aに格納する。第10図に13'の現段階の座標格子14C上でポアソン方程式を解いた際の残差分布と計算

に用いた現段階の座標格子14Cを示す。残差分布は、等高線30で示している。また、第11図に、上記方法で作成した粗座標格子(実線)16Aを第10図の残差分布と現段階の座標格子(一点鎖線)14Cと共に示す。

このように残差分布を考慮した多重格子の作成が終了しステップ7Cの判定がYESになると、得られた多重格子を用いてステップ10の処理が実行される。第9図の表示例では、粗密の異なる粗座標格子16は大きさの異なる単位格子が残差分布に応じて11個存在する。各々の単位格子で連立一次方程式 $A'x=b'$ を作成しこの方程式を残差が所定値以下になるまで繰返して解く。その方程式の初期値は、上記多重格子のもとになった現段階の座標格子の単位格子に対する所定の連立一次方程式 $Ax=b$ を解いて得られた値を用いる。本実施例は、残差の分布に応じて単位格子の大きさの異なる粗座標格子を作成できるので、連立一次方程式 $A'x=b'$ を解いた場合、残差の影響を短時間に排除できる。従って、収束時間が短く、

(2) 表示された物理量に基づく最粗座標格子からの多段階密格子の作成と、その残差に基づく粗格子の作成変更

(3) 物理量に基づく最密格子の変更と残差に基づく粗格子の作成

以上の本実施例による多重格子作成方法及び装置により作成した多重座標格子例を以下に示す。第12図は円内の三重座標格子の例である。第13図は、円管群の間を流れる流体の解析用に作成した二重座標格子の例である。

一般に、本発明のような支援装置を用いない場合には、対象とする物体が複雑になればなるほど適切な密座標格子及び粗座標格子の設定は難しくなり、人為的ミスが増加する。これは、現段階の座標格子との対応を取って粗座標格子を指定するのでなければ、経験を十分に反映した粗座標格子を作成することが困難であること、また、粗座標格子の作成のために残差分布と対応を取らなければ、十分適切な粗格子を作成することが困難であることによる。このような問題を本発明のように

得られる物理量も精度の高いものとなる。

上記の残差分布と計算格子及び粗格子の表示については重なり表示と並列表示を採用することができる。

また、計算した物理量に基づいて更に密な座標格子を作成する場合、物理量と計算に用いた現段階の座標格子を重ねて表示し、第1図のステップ8Dの細分割手順により計算に用いた現段階の座標格子から更に密な座標格子を作成する。このとき、計算に用いた座標格子の座標線位置が得られた密座標格子の座標線位置と一致せず、しかも密座標格子の採用が解析作業から指定された場合には、密座標格子を現段階の座標格子として、計算に用いた座標格子とそれより粗い座標格子を全て作成し直す(ステップ8Dの処理)。

上記の残差分布や物理量を用いた多重格子作成手順を解析作業者が組合せることにより、単に解析作業者の経験から多重格子を作成するだけでなく、以下の多重格子作成が可能となる。

(1) 表示された残差に基づく粗格子の作成変更

対話形式で処理するとミスがなくなり、作業の効率は飛躍的に増大する。

尚、対応関係とは、第一格子座標と第二格子座標とを重ね合せたことを示したが、この他に対応関係をパラメータによって代替してこれを表示させてもよい。パラメータとしては、粗密の具合を示す因子、部分領域の大きさ等がある。また、重ねて表示させる以外に別々に表示させておくこともありうる。

〔発明の効果〕

以上述べたように、本発明の座標格子作成支援方法及びその装置を用いて対話型で解析領域に多重座標格子を作成することにより、解析作業者の考え方を取り入れつつ、解析対象、解析目的に応じた、計算時間短縮に役立つ座標格子を効率良く生成することができる。この結果、座標格子作成時の人為的ミスをなくし、格子生成に要する作業時間を低減することができると共に、物理量計算に要する時間も低減することができる。

4. 図面の簡単な説明

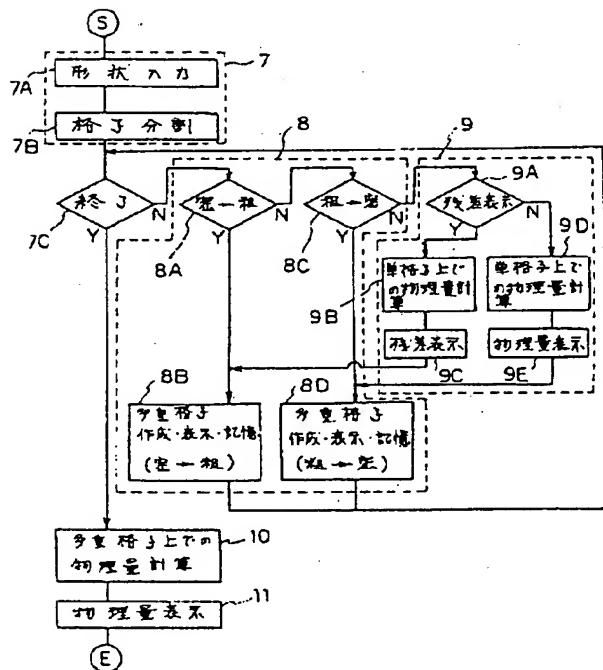
第1図は本発明の座標格子作成支援方法の流れを示す図、第2図は本発明の座標格子作成支援装置の構成を示す図、第3図は作成済み座標格子の表示画面、第4図は初期作成格子のみを表示した粗格子作成画面、第5図は操作対象格子と新規作成格子を重ねて表示した粗格子作成画面、第6図は操作対象格子と新規作成格子を重ねて表示した密格子作成画面、第7図は各種表示例であって、第7A図は操作対象格子上の残差表示例図、第7B図は粗格子作成の例図、第7C図は操作対象格子上の残差表示例図、第7D図は粗格子作成の例図、第8図は残差表示画面図、第9図は残差に基づいた粗格子作成画面図、第10図は実解析での残差分布の例図、第11図は実解析での残差分布に基づいた粗格子作成例図、第12図は円領域解析での多重格子の例図、第13図は管群領域の流体解析での多重格子の例図である。

1…座標格子作成支援装置、2A、2B…表示装置、3A、3B…画像表示制御装置、3C、3D…画像データ記憶部、4…演算処理装置、4a…

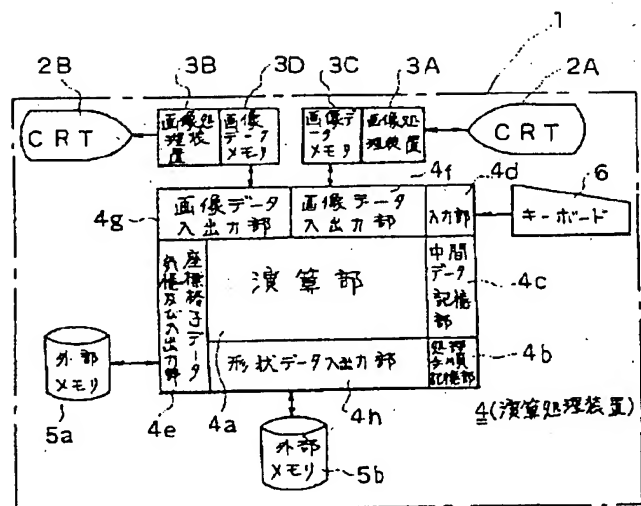
演算部、4b…処理手順記憶部、4c…中間データ記憶部、4d…入力部、4e…座標データ入出力部、4f、4g…画像データ入出力部、4h…形状データ入出力部、5…外部記憶装置、6…操作盤、7…初期座標格子作成ステップ、8…粗密多重格子設定ステップ、9…ガイダンス表示ステップ、10…表示画面、14…現段階（カレントレベル、操作対象）の座標格子、15…パラメータ入力テーブル、16…粗座標格子、17…指定された辺、18…区間始点マーカ、19…カーソル、20…密座標格子、21…残差正領域、22…残差負領域。

代理人 井理士 秋 本 正 実

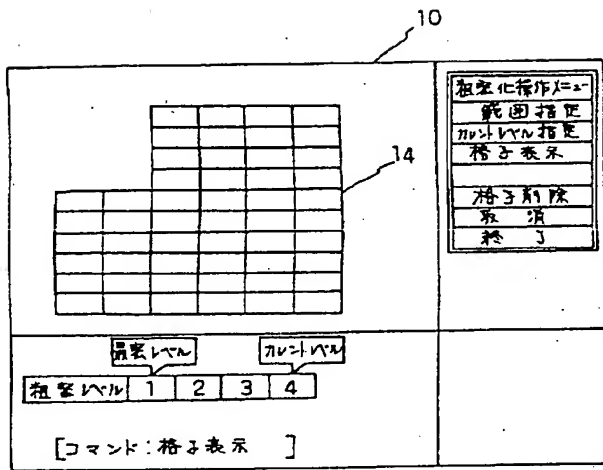
第 1 図



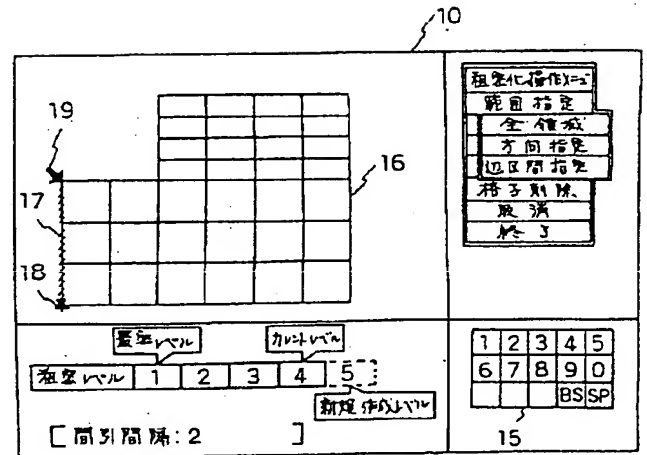
第 2 図



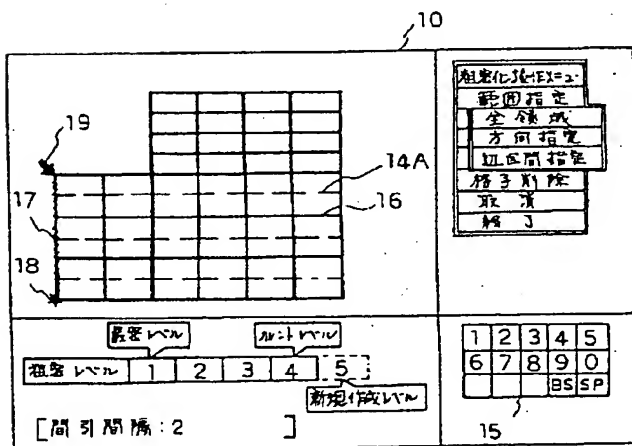
第 3 図



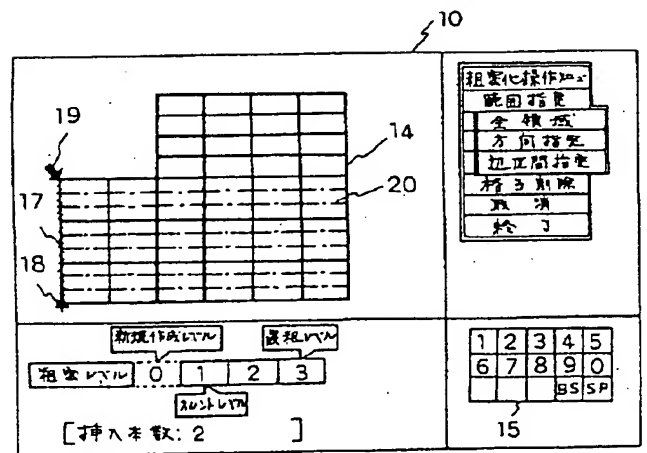
第 4 図



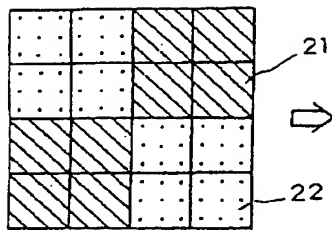
第 5 図



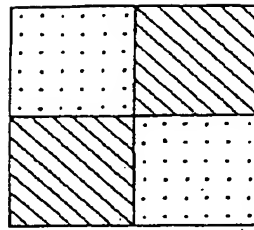
第 6 図



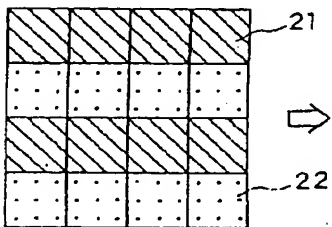
第7A図



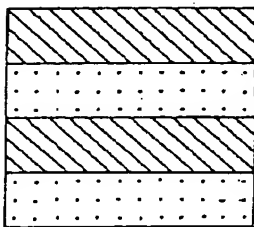
第7B図



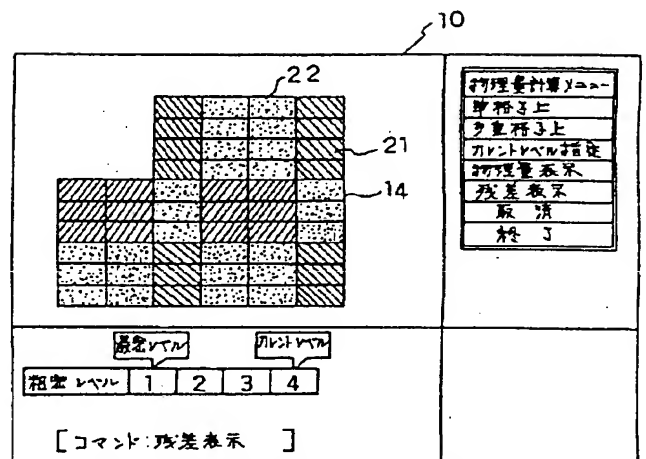
第7C図



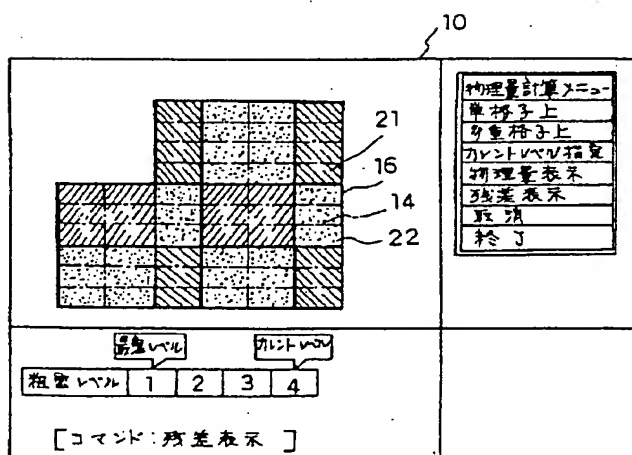
第7D図



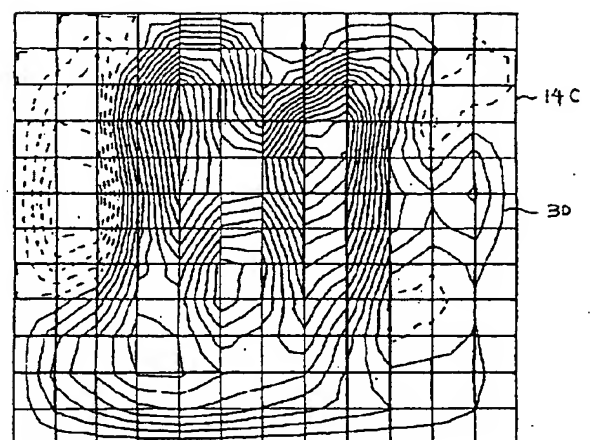
第8図



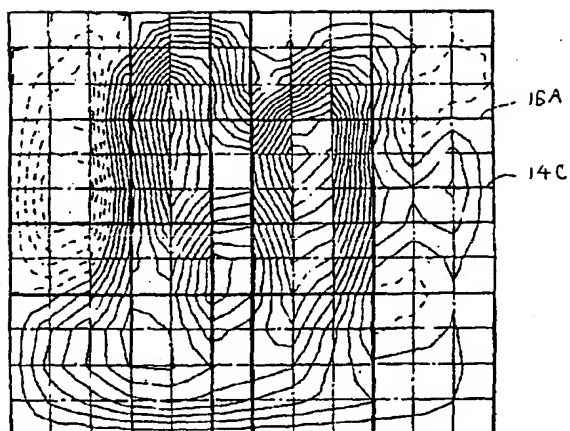
第9図



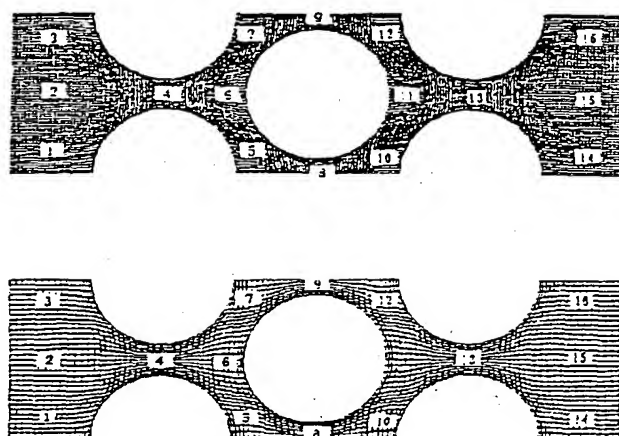
第10図



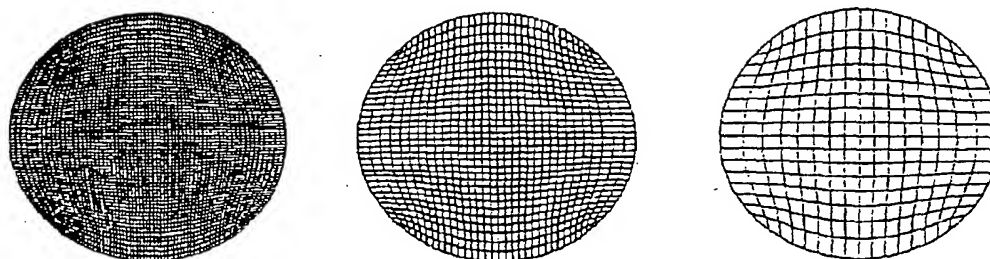
第 11 図



第 13 図



第 12 図



第1頁の続き

②発明者

三木

一克

茨城県日立市森山町1168番地 株式会社日立製作所エネルギー研究所内

Partial English Translation of Japanese Laid-Open Patent  
Application No. H4-679

It is assumed that a coordinate grid in a target analysis region is given by a general coordinate grid formation support CAD system or a known technique (for example, a curve coordinate grid is formed by coordinate transformation described in Japanese Patent Application No. 60-212985 and Japanese Patent Application No. 61-106466). The subsequent procedures will be explained as a support method of the present invention. As a method of forming a multiple grid, a method of hierarchically forming a rough grid by thinning coordinate lines of a rough/dense grid was devised. As another method, the following method was devised. That is, the roughest grid is formed first, and coordinate lines are interpolated, so that a dense grid is hierarchically formed. In addition, a method of hierarchically the rough grid on the basis of a residual distribution of the rough grid and a method of forming a dense grid on the basis of a physical quantity distribution in the rough grid were devised. In particular, the later is effectively used when an optimum dense grid is formed while an initial value of the dense grid is calculated. In order to make it possible to form multiple grids, when a coordinate grid at a certain level is obtained in step 7, a menu "1. End, 2. Dense → Rough, 3. Rough → Dense, 4. Residual Display, 5. Physical Quantity Display" which is stored in an external memory 5b is displayed on the screen of a display device 2A by an arithmetic



unit 4a. An analyst selects a menu item from the menu to designate the menu item with a keyboard 6, so that the processes in steps 8 and 9 are executed, and the corresponding rough or dense grid is formed.

A case in which an analyst forms a rough coordinate grid from a dense coordinate grid through many levels on the basis of her/his experience will be described below. A coordinate grid formed first is considered as a densest coordinate grid. In formation of a rough coordinate grid (step 8B), the coordinate grid temporarily stored in an external memory 5a is displayed on the screen of the display device 2A again. It is assumed that this coordinate grid is called a coordinate grid (basic coordinate grid) at a current level. Rough grids are sequentially formed by thinning out several coordinate lines of the coordinate grid at the current level. FIG. 3 shows an example of a coordinate grid 14 at a current level displayed on the device of this embodiment. A procedure for forming a rough coordinate grid will be described below. An analyst, as shown in FIG. 4, designates one side (one coordinate line) 17 of the coordinate grid 14 at the current level on the screen of the display device 2A by using the keyboard 6 or a light pen, designates a range (partial region) extending from 18 to 19 on the side, and picks the number of thinned coordinate lines in the range by a parameter input table 15 to designates the number of thinned coordinate lines. In the process in step 8B, the rough coordinate grid is calculated (by using, e.g., the technique described in Japanese Patent Application No. 61-

281773) in the partial region designated on the basis of the information obtained above. As shown in FIG. 4, a rough coordinate grid 16 obtained after the designated coordinate lines are thinned is displayed on the display devices 2A and 2B. In this process, as shown in FIG. 4, a coordinate grid which includes the coordinate grid 14 at the current level and the rough coordinate grid 16 is obtained. On the other hand, as shown in FIG. 5, the thinned coordinate lines 14A (broken lines) and the rough coordinate grid 16 from which the coordinate lines 14A are removed are displayed on the display device 2A. Another range on the same side or another coordinate line crossing the side and a range on the coordinate line are designated, and, similarly, a coordinate grid in which the designated coordinate lines are thinned is calculated and displayed. This operation is repeated until a coordinate grid which is satisfied on the basis of the experience of the analyst can be obtained, and a relation between the satisfied rough grid and a dense grid is stored in the external memory 5a, or the rough grid is also stored. The obtained rough grid is considered as a coordinate grid at a current level, and the above operation is repeated. In this manner, a combination (multiple grid) of rough and dense grids at multilevels can be formed.

The designation of one side (or coordinate grid) is performed by picking one side with a light pen, a mouse, or the like. The designation of a range is performed by picking a coordinate line (coordinate surface in three-dimensional simulation) crossing the side 17. The number of thinned

coordinate lines is input by inputting the number of coordinate lines between thinned coordinate lines, by inputting the number of lines (surfaces) to be thinned, or by picking lines to be deleted. In the calculation of the rough coordinate grid, lines (surfaces) to be thinned are deleted, and grid point numbers are rearranged, and a relation between the rough coordinate grid and the dense coordinate grid is determined. In the display of the rough coordinate grid, the rough coordinate grid is emphatically displayed by colors, contour heavy lines, flicker, highlight, alternate display, parallel display, or the like. In the display of the relation, the rough and dense coordinate grids are displayed such that the coordinate grids are superposed (FIG.5).

When the analyst roughly divides a roughest coordinate grid on the basis of her/his experience to form a dense coordinate grid through many levels, a coordinate grid at a current level is the roughest coordinate grid (basic coordinate grid) at the present time. For example, it is assumed that the coordinate grid 14 in FIG.6 is considered as a coordinate grid at a current level. In this case, according to a procedure for forming a dense coordinate grid, as shown in FIG. 6, one side 17 of the coordinate grid 14 is designated, a range (partial region) extending from 18 to 19 on the side is designated, and the number of rough divisions in the range is designated. On the basis of the information, a dense coordinate grid (for example, by using the techniques described in Japanese Patent Application No. 61-106466, Japanese Unexamined Patent

Publication No. 62-263564, Japanese Patent Application No. 61-281773, Japanese Unexamined Patent Publication No. 63-136258, and Japanese Patent Application No. H1-27462, and as shown in FIG. 6, the basic coordinate grid 16 and a dense coordinate grid 20 obtained by rough division performed by adding coordinate lines in a partial region are displayed on the display devices 2A and 2B. Another range on the same side 17 or another coordinate grid crossing the side and a range on the coordinate line are designated, and, similarly, sub-divided coordinate grids are calculated and displayed on the display devices 2A and 2B. This operation is repeated until a coordinate grid which is satisfied on the basis of the experience of the analyst can be obtained, and the satisfied dense grid is considered as the densest coordinate grid. A relation of the rough coordinate grid to the dense coordinate grid and a fine coordinate grid are stored in the external memory 5a. The coordinate data of the rough coordinate grid may be deleted. The densest coordinate grid is considered as a coordinate grid at a current level, and the above operation is repeated, so that the multiple grid can be formed.

In the inputting of the number of subdivisions, the number of insertion divisions in a unit grid is input, or the number of all insertion divisions in a designated range is input. In the display of the rough coordinate grid, the rough coordinate grid is emphatically displayed by colors, contour heavy lines, flicker, highlight, alternate display, parallel display, or the like on the display devices 2A and 2B. In the display of the

relation, the rough and dense coordinate grids are displayed on the display devices 2A and 2B such that the coordinate grids are superposed (FIG. 6).

On the basis of physical quantity calculation using the coordinate grid at the current level, a residual distribution for the coordinate grid is obtained (step 9B). When a rough coordinate grid is formed on the basis of the residual distribution (step 8B), a rough coordinate grid is set by a method (will be described below) such that a residual distribution in a control volume for one unit grid of the rough coordinate grid has a predetermined positive value (residuals have positive values) or a predetermined negative value (residuals have negative values) as much as possible. For example, when the numbers of vertical and horizontal unit grids included in a negative region (region in which the residuals have positive values) 21 and a negative region (region in which the residuals have negative values) 22 are equal to each other (FIG. 7A), the unit grids are integrated in units of the positive region 21 and the negative region 22 adjacent to each other to a rough coordinate grid as shown in FIG. 7B. In the coordinate grid at the current level, when the numbers of unit grids included in the negative region 21 and the negative region 22 of the residuals are considerably different from each other in the coordinate grid at the current level (FIG. 7C), the unit grids of the coordinate grid at the current level are integrated in units of the regions to form a rough coordinate grid as shown in FIG. 7D. More specifically, when the unit grids of the

coordinate grid at the current level are integrated with each other in units of the positive region (or negative region) of the residuals, one unit grid in the rough coordinate grid is formed. The coordinate lines of the rough coordinate grid are located on a boundary between the negative region 21 and the negative region 22 as much as possible.

The sizes of the residuals are not classified into the positive region and the negative region, and the sizes of the residuals can also be classified into three or more regions in units of predetermined level ranges. In this case, the unit grids of a coordinate grid at a current level are integrated with each other in units of level ranges, and a rough coordinate grid is formed by the same manner as described above.

A procedure for forming a multiple grid in consideration of a residual distribution is as follows. A case in which a residual distribution is classified into the positive region 21 and the negative region 22 will be exemplified. A physical quantity on a coordinate grid at a current level is set, the physical quantity is repeatedly calculated, and the repetition is ended by an appropriate number of times (step 9B). The obtained residual distribution (the positive region 21 and the negative region 22) and the coordinate grid at the current level which is used in the calculation as shown in FIG. 8 are displayed on the display devices 2A and 2B (step 9C).

In step 8B, retrieval for checking whether a rough coordinate grid corresponding to the displayed residual distribution is stored in the external memory 5a or not is

performed. When the corresponding rough coordinate grid is stored, the rough coordinate grid is called, and the rough coordinate grid is emphatically displayed on the superposing display of the residual distribution and the coordinate grid at the current level. When the corresponding rough coordinate grid is not stored, in step 8B, it is displayed on the display device 2A that the rough coordinate grid is not stored. An analysts designates coordinate lines to be deleted with reference to the display data of the residual distribution and the coordinate grid at the current level by the same manner as described above. In response to the designation information, in step 8B, a rough coordinate grid is formed from the dense coordinate grid by the thinning procedure, and, similarly, the rough coordinate grid is emphatically displayed (FIG. 9). Coordinate lines 14B indicated by chain lines in FIG. 9 are thinned lines. As described above, according to this embodiment, since the sizes of the residuals can be reflected on formation of a rough coordinate grid, a rough coordinate grid (multiple grid) having unit grids having different sizes can be easily formed as shown in FIG. 9. Since a residual distribution is displayed, coordinate lines to be thinned in the formation of the multiple grid can be easily known by an analyst. The analyst decides on the basis of her/his experience whether the emphatically displayed rough coordinate grid is appropriate or not (FIG. 9 shows an appropriate rough coordinate grid). When the obtained rough coordinate grid is not appropriate, the analyst designates coordinate lines to be

thinned from the coordinate grid at the current level again, and a rough coordinate grid is formed by the thinning procedure in step 8B. The rough coordinate grid is corrected by an operation (e.g., using the technique described in Japanese Patent Application No. 61-281773 and Japanese Patent Application No. H1-27462) such as an operation of deleting or adding a coordinate line on the obtained rough coordinate grid. The formed rough coordinate grid is emphatically displayed on the display devices 2A and 2B such that the rough coordinate grid is superposed on the residual distribution and the coordinate grid at the current level (FIG. 9). When the analyst inputs a signal representing that the rough coordinate grid is appropriate, a relation of the rough coordinate grid to the dense coordinate grid and the rough coordinate grid are stored in the external memory 5a. FIG. 10 shows a residual distribution obtained when a Poisson equation is solved on a  $13 \times 13$  coordinate grids 14C at a current level and the coordinate grids 14C at the current level used in the calculation. The residual distribution is indicated by contour lines 30. FIG. 11 shows a rough coordinate grid (solid line) 16A formed by the above method together with the residual distribution in FIG. 10 and the coordinate grid (chain line) 14C at the current level.

As described above, upon completion of the formation of the multiple grid in consideration of the residual distribution, when YES is decided in step 7C, the process in step 10 is executed by using the obtained multiple grid. In the display example in FIG. 9, the rough coordinate grid 16 having an uneven density



includes 11 unit grids having different sizes depending on the residual distribution. Simultaneous linear equations  $A'x' = b'$  are formed in each of the unit grids, and the equations are repeatedly solved until the residuals have predetermined values or less. As an initial value of the equations, a value obtained by solving predetermined simultaneous linear equations  $Ax = b$  to the unit grids of the coordinate grid at the current level is used. In this embodiment, the rough coordinate grid having unit grids having different sizes can be formed depending on a residual distribution. For this reason, when the simultaneous linear equation  $A'x' = b'$  are solved, the influence of the residuals can be eliminated within a short time. Therefore, convergence time is short, and an obtained physical quantity can be calculated at high accuracy.

In the display of the residual distribution, the calculation grid, and the rough grid, a superposing display and a parallel display can be employed.

When a further dense coordinate grid is formed on the basis of the calculated physical quantity, the physical quantity used in the calculation and the coordinate grid at the current level are displayed such that the physical quantity is superposed on the coordinate grid. A further dense coordinate grid is formed from the coordinate grid at the current level used in the calculation is formed by the subdividing procedure in step 8D in FIG. 1. At this time, when coordinate line positions of the coordinate grid used in the calculation are not equal to coordinate line positions of the dense coordinate

grid, and when employment of the dense coordinate grid is designated by the analyst, by using the dense coordinate grid as the coordinate grid at the current level, the coordinate grid used in the calculation and all coordinate grids which are rougher than the coordinate grid used in the calculation are formed again (process in step 8D).